ÉTUDE INTÉGRÉE DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES DE LA PRODUCTIVITÉ AU NIVEAU DE LA PÉDOSPHÈRE EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE DANS LE CADRE DU P.B.I. PROGRAMME ET DESCRIPTION DES STATIONS

P. LOSSAINT (*)

Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques
Laboratoire d'Eco-Pédologie et R.C.P. 40 - Montpellier (France)

RÉSUMÉ

L'auteur, expose sommairement les principales études d'écologie du sol en cours de réalisation depuis trois ans dans deux stations à *Quercus ilex* du Sud de la France. Ces recherches, retenues dans le cadre du programme français du P.B.I., concernent les facteurs physiques (température, eau) du milieu, les cycles biogéochimiques des éléments minéraux, de l'Azote, de la matière organique, la microflore du sol et son activité, ainsi que la dynamique saisonnière de la microfaune. La description écologique complète des stations est donnée.

SUMMARY

An integrated study of soil ecology started 3 years ago on two *Quercus ilex* sites in southern France is described.

This research includes physical factors (temperature and water), chemical factors (turnover of mineral elements, nitrogen and organic matter), biological factors (microflora and its activity, micro- and mesofauna).

The complete ecological description of the sites is given.

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliengenden Arbeit wird ein bodenoekologisches Programm dargelegt, dass vor drei Jahren in zwei *Quercus ilex*-Standorten in Süd-Frankreich gestartet wurde und im

(*) Adresse : CEPE-CNRS, B. P. 1018, 34 - Montpellier (France).

ŒCOL. PLANT.
GAUTHIER-VILLARS
Vol. 2, p. 341-366, 1967.

Rahmen des IBP weitergeführt wird. Es werden hauptsächlich der Wärme- und Wasserhaushalt, die Kreisläufe der für Primärproduzenten wichtigen Elemente, der Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf, die mikrobiellbedingten Umsetzungen im Boden sowie die Mikroflora und die Mikro- und Mesofauna des Bodens untersucht.

INTRODUCTION

Les études intégrées, globales, d'écosystèmes présentent un intérêt considérable sur le plan fondamental et constituent une source intéressante de renseignements sur les causalités des rapports qui existent entre le milieu et les organismes vivants.

Le programme de recherches présenté ci-dessous, concernant tout spécialement l'étude du milieu édaphique, a été mis en place il y a trois ans, dans la région de Montpellier, dans le cadre de l'activité du groupe de recherches d'Eco Pédologie et de la R.C.P. 40 (*) (DELAMARE-DEBOUTTEVILLE Cl. et VANNIER G., 1966). Il a été retenu dans le groupe PT du projet français du Programme Biologique International.

Son but initial était d'obtenir à l'échelle stationnelle des renseignements aussi complets que possible sur les différents phénomènes qui se déroulent à la surface et au sein du sol et, dans un avenir plus lointain de tenter l'établissement du bilan des processus de transformation et des échanges d'énergie, d'eau et de substances minérales et organiques dans les écosystèmes.

Le programme vise par conséquent à une meilleure connaissance des mécanismes pédogénétiques, des rapports qui existent sur le plan fonctionnel entre groupements animaux et végétaux et le milieu édaphique et, de façon plus générale, ces recherches constituent une approche du problème de la productivité des écosystèmes terrestres naturels.

La région de Montpellier se prête particulièrement bien à une telle recherche intégrée en raison de l'existence d'un important laboratoire d'Ecologie et des nombreuses connaissances déjà acquises quant à la composition floristique, la structure et les aspects sociologiques de la végétation.

La grande extension des types de végétation étudiés, sur tout le pourtour méditerranéen, les conditions climatiques particulières par rapport à d'autres régions et le peu d'études entreprises jusqu'à présent dans ce domaine, sont d'autres arguments en faveur de ce projet.

Rappelons que dans cette région la végétation primitive, constituée sans doute par une forêt de *Quercus ilex* L., a été presque complètement remplacée, à la suite

(*) R.C.P. 40 : Recherche coopérative sur programme du Centre National de la Recherche Scientifique, créée en 1963.

de l'intervention humaine déjà très ancienne, par une garrigue à *Quercus coccifera* L., elle-même transformée pour les besoins du pâturage en pelouse à *Brachypodium ramosum L.* (Fig. 1). Çà et là, des peuplements de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) se sont constitués ou ont été plantés. La majeure partie des terrains cultivés est occupée par la vigne.

Sur calcaire karstique compact, les sols sont généralement des terra rossa, transformées en surface en un sol brun forestier. Sur les calcaires tendres ou marneux, plus facilement érodables, se forment des rendzines ou des sols bruns calcaires. Dans l'ensemble leur profondeur est irrégulière (10 à 60 cm). Ils sont très caillouteux.

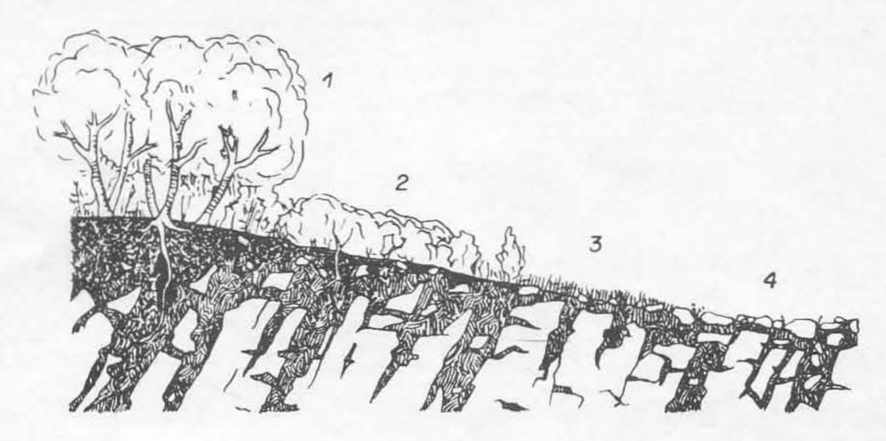


FIG. 1. — Stades de régression et groupements de remplacement du *Quercetum ilicis galloprovinciale typicum* et de son profil de sol sur calcaire compact (d'après BRAUN-BLANQUET, 1936) 1) *Quercetum ilicis,* 2) *Quercetum cocciferae brachypodietosum,* 3) *Brachypodietum ramosi,* 4) Stade surpaturé à *Euphorbia characias.*

C'est dans cette bioséquence de dégradation que nous avons installé, à proximité de Montpellier, un certain nombre de stations expérimentales (fig. 2) où les recherches exposées ci-dessous sont effectuées. Nous ne retiendrons ici que les stations à *Quercus ilex,* qui nous serviront de référence. Elles sont décrites dans les pages qui suivent.

Le programme que nous présentons ensuite comprend trois parties traitant successivement :

— des facteurs physiques : conditions thermiques et hydriques, établissement du bilan d'eau des stations ;

— des facteurs chimiques et biochimiques : cycle de la matière organique et des éléments biogènes, activité biochimique des sols ;

— des facteurs biologiques : évolution saisonnière de la microflore totale et de l'activité des groupements fonctionnels, inventaire saisonnier de la micro- et mésofaune.

LES STATIONS

Les deux stations forestières choisies sont dénommées « La Madeleine » (fig. 3) et « Le Rouquet » (fig. 4). La première est située à 10 km au Sud-Ouest (48 G 36 Long., 1 G 65 Lat. N), la deuxième à 14 km au Nord-Ouest (48 G 56 Long., 1 G 61 Lat. N) de Montpellier. Les altitudes sont respectivement de 10 m et 185 m.

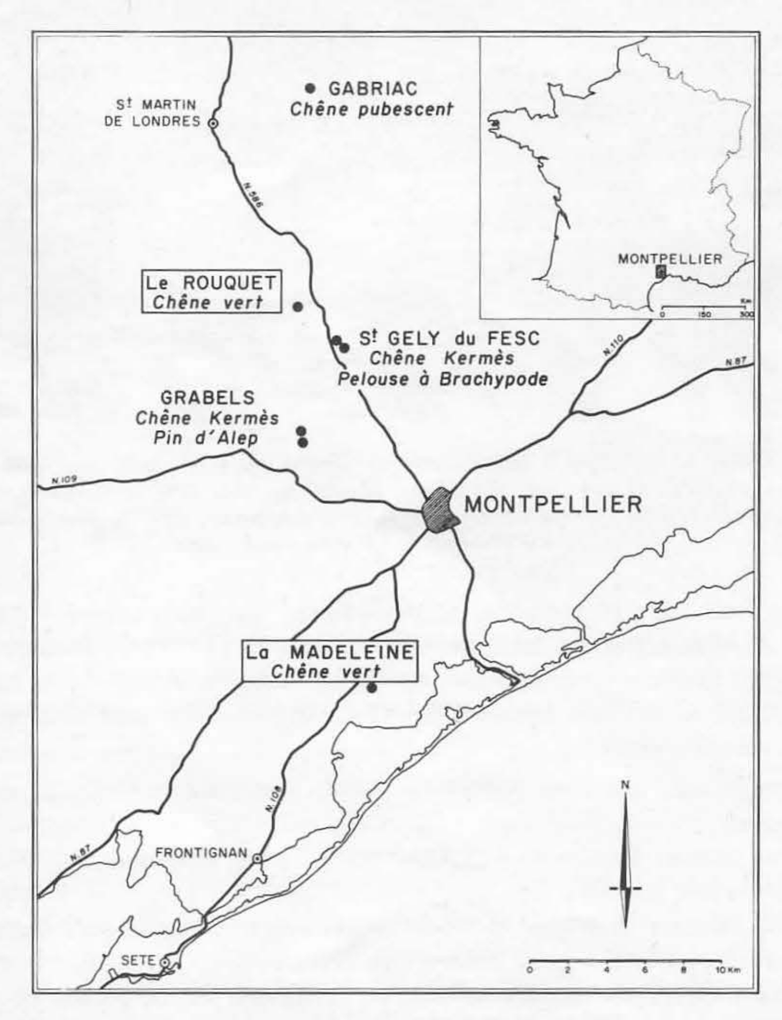


Fig. 2. — Implantation des stations expérimentales du groupe d'Eco-Pédologie de Montpellier.

Il s'agit dans les deux cas de futaies de Chêne vert (*Quercus ilex L.*), arbre dominant du groupement végétal climax de la région.

Le climat régional est de type méditerranéen subhumide, selon la classification d'EMBERGER (1955). Il a les caractères suivants, à Montpellier, d'après DUGRAND (1964) :

— température moyenne annuelle 14°4, les extrêmes maxima et minima suivants ayant été observés : + 15°9 en 1899 et + 13°1 en 1917.

— moyenne des minima (m) du mois le plus froid (février) : + 1°08 (1873-1922) ;

— moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud (juillet) : + 31°44 (1873-1922) ;

— nombre de jours de gelées par an : 40 (sur une période de 28 ans) ;

— précipitations moyennes annuelles : 770 mm, mais on observe de fortes variations d'une année à l'autre ;

— formule pluviométrique A.P.H.E. (automne, printemps, hiver, été) A : 259 mm (36,7 %) ; P : 191,3 mm (25 %) ; H : 181,5 mm (21 %) ; E : 123,2 mm (15,8 %) ;

— quotient pluviothermique d'EMBERGER (1955) : 80, pour la période 1955-1965. La courbe d'évapotranspiration établie d'après la formule de Turc met en évidence une période de déficit hydrique qui s'étend d'avril à septembre. Ce déficit dépasse 120 mm en juillet.

CARACTÉRISTIQUES DE LA VÉGÉTATION

La Madeleine : Le bois de la Madeleine, d'une surface totale de 5 ha, est composé essentiellement de Chênes verts, de hauteur très variable selon l'épaisseur du sol et la proximité de l'assise rocheuse sous-jacente.

Nous ne retiendrons ici que le secteur dont les arbres sont les plus élevés, qui couvre une surface de 1 800 m² et qui a été choisi comme station d'étude.

Le relevé floristique figurant sur le tableau n° 1 montre qu'il s'agit du *Quercetum ilicis galloprovinciale* tel qu'il a été défini par BRAUN-BLANQUET (1936). Cependant, la présence de *Laurus nobilis* fait penser qu'on est en présence d'un faciès anthropogène. D'autre part, la forte abondance d'*Hedera helix* et la présence de quelques pieds d'*Iris foetidissima* témoignent d'un pédoclimat légèrement humide. Ce dernier est dû essentiellement à l'existence d'une falaise abrupte qui borde le bois sur son côté Nord-Ouest et qui protège ainsi la station contre la dessication par les vents venant de cette direction.



FIG. 3. — La station à *Quercus ilex* de La Madeleine (cliché M. Rapp).

Les arbres ont une hauteur moyenne de 15 mètres. Leur âge est difficile, sinon impossible, à apprécier. On peut l'estimer à 100 à 200 ans. Les autres caractéristiques du peuplement, répartition des diamètres, nombre de pieds, etc. figurent sur le tableau n° 3 et le graphique n° 6.

Le Rouquet : Le bois du Rouquet, d'une surface de 2 ha, est composé exclusivement de Chênes verts, la plupart issus de rejets de souche. Dans la zone d'étude choisie, dont les arbres ont été mesurés, la hauteur moyenne est de 11 mètres. Le peuplement est nettement plus dense qu'à la Madeleine, mais les arbres présentent dans l'ensemble un diamètre plus faible (tabl. n° 2, fig. n° 6).

Le relevé figurant sur le tableau n° 2 indique une richesse en espèces plus grande (31). Il s'agit d'une variante plus sèche du *Quercetum ilicis galloprovinciale* Br. Bl.

TABLEAU 1

Relevé phytosociologique à la station de La Madeleine.

Surface 100 m²

Date 22.2.1967, Nombre d'espèces : 15

Strate	d_j = Espèce	Classe d'a-bondance(*)	Recouvre-ment	Type biologique(**)
Arborée	*Quercus ilex* (4)	4	60 %	P
+ 2 m	*Hedera helix*	4	+	P
Recouv. 60 %				
Arbustive	*Rubus sp.*	2	+	NP
− 2 m	*Euphorbia characias* (1)	1	+	Ch
Recouv. 20 %	*Cneorum tricoccum*	3	7 %	NP
	Hedera helix	1	+	NP
	Celtis australis	2	5 %	NP
	Viburnum tinus	1	+	NP
	Quercus ilex	1	+	NP
	Laurus nobilis	1	+	NP
	Phillyrea angustifolia	1	+	NP
	Ruscus aculeatus (1)	1	+	NP
	Pistacia lentiscus	1	1-2 %	NP
Herbacée	*Hedera helix*	5	95 %	Ch
0-30 cm	*Arum Italicum*	4	40 %	G
Recouv. 100 %	*Quercus ilex*	2	+	Ch
	Rubus sp.	1	+	Ch
	Pistacia lentiscus	1	+	Ch
	Phillyrea media	1	+	Ch
	Rubia peregrina	1	+	Ch
	Iris foetidissima	1	+	G
Alentours	*Pinus halepensis*			P
	Clematis flammula			P
	Ligustrum vulgare			NP
	Robinia pseudacacia			P

(*) Classes d'abondance de 1 à 5.

(**) P = phanérophyte, NP = nanophanérophyte, Ch = chaméphyte, G = géophyte.

(1) Pieds.

TABLEAU 2

Relevé phytosociologique à la station du Rouquet.

Surface 100 m²

Date 14.4.1967, Nombre d'espèces 31

Strate	d_i = Espèce	Classe d'a-bondance(*)	Recouvre-ment	Type biologique(**)
Arborée	*Quercus ilex* (16)	5	75 %	P
+ 2 m	*Rhamnus alaternus* (1)	1	+	P
Recouv. 75 %				
Arbustive	*Phillyrea angustifolia*	1	+	NP
– 2 m	*Smilax aspera*	1	+	P
Recouv. 10 %	*Juniperus oxycedrus*	2	1 %	NP
	Rubus ulmifolius	2	1 %	NP
	Asparagus acutifolius	2	+	P
	Quercus ilex	2	2 %	NP
	Viburnum tinus	1	+	NP
	Rosa cf. pimpinellifolia (1)	1	+	NP
	Lonicera implexa (1)	1	+	NP
	Prunus mahaleb (1)	1	+	NP
Herbacée	*Quercus ilex*	1	+	Ch
– 30 cm	*Quercus pubescens*	1	+	Ch
Recouv. 10 %	*Rubia peregrina*	3	+	Ch
	Viola alba ssp. scrotophylla	2	+	H
	Stachys officinalis	1	+	H
	Juniperus oxycedrus	1	+	Ch
	Asparagus acutifolius	2	+	G
	Clematis flammula	2	+	Ch
	Clematis vitalya	1	+	Ch
	Rhamnus alaternus	2	+	Ch
	Hieracium murorum	3	+	H
	Ranunculus bulbosus	2	+	H
	Viburnum tinus	1	+	Ch
	Tamus communis (1)	1	+	G
	Rosa sempervirens	2	+	Ch
	Phillyrea angustifolia	1	+	Ch
	Phillyrea media	1	+	Ch
	Helleborus foetidus (3)	2	+	Ch
	Rubus ulmifolius	2	+	Ch
	Prunus spinosa	2	+	Ch
	Seseli montanum (1)	1	+	H
	Lonicera implexa (1)	1	+	Ch
	Limodorum abortivum (2)	1	+	G
	Galium cf. mollugo erectum	1	+	T
	Carex halleriana	1	+	H
	Medicago minima	1	+	T
	Oryzopsis paradoxa	2	+	H
	Cephalanthera rubra	1	+	
	Acer monspessulanum			

TABLEAU II
(suite)

Strate	d_i = Espèce	Classe d'abondance(*)	Recouvrement	Type biologique(**)
Alentours	*Arbutus unedo*			P
	Osyris alba			NP
	Daphne gnidium			NP
	Ruscus aculeatus			NP
	Brachypodium ramosum			Ch
	Pistacia lentiscus			NP
	Calamintha officinalis ssp. *menthaefolia*			H
	Taraxacum officinale			H
	Sorbus torminalis			NP

(*) Classes d'abondance de 1 à 5

(**) P = phanérophyte
NP = nanophanérophyte
Ch = chaméphyte
H = hémicryptophyte
G = géophyte
T = thérophyte
( ) nombre de pieds

TABLEAU 3

Caractéristiques dendrométriques des peuplements de Quercus ilex *de La Madeleine et du Rouquet.*

	La Madeleine	Le Rouquet
Surface étudiée	1800 m²	1500 m²
Nombre d'arbres	77	216
Circonférence moyenne des arbres en cm	95,7	56,5
Surface terrière totale en m²	6,13	5,82
Surface terrière moyenne par arbre en cm²	797,25	269,48
Nombre d'arbres par hectare	527	1440
Surface terrière en m² par hectare	34,11	38,80
Hauteur moyenne en m	15	11

FIG. 4. — La station à *Quercus ilex du Rouquet* (cliché : P. Lossaint).

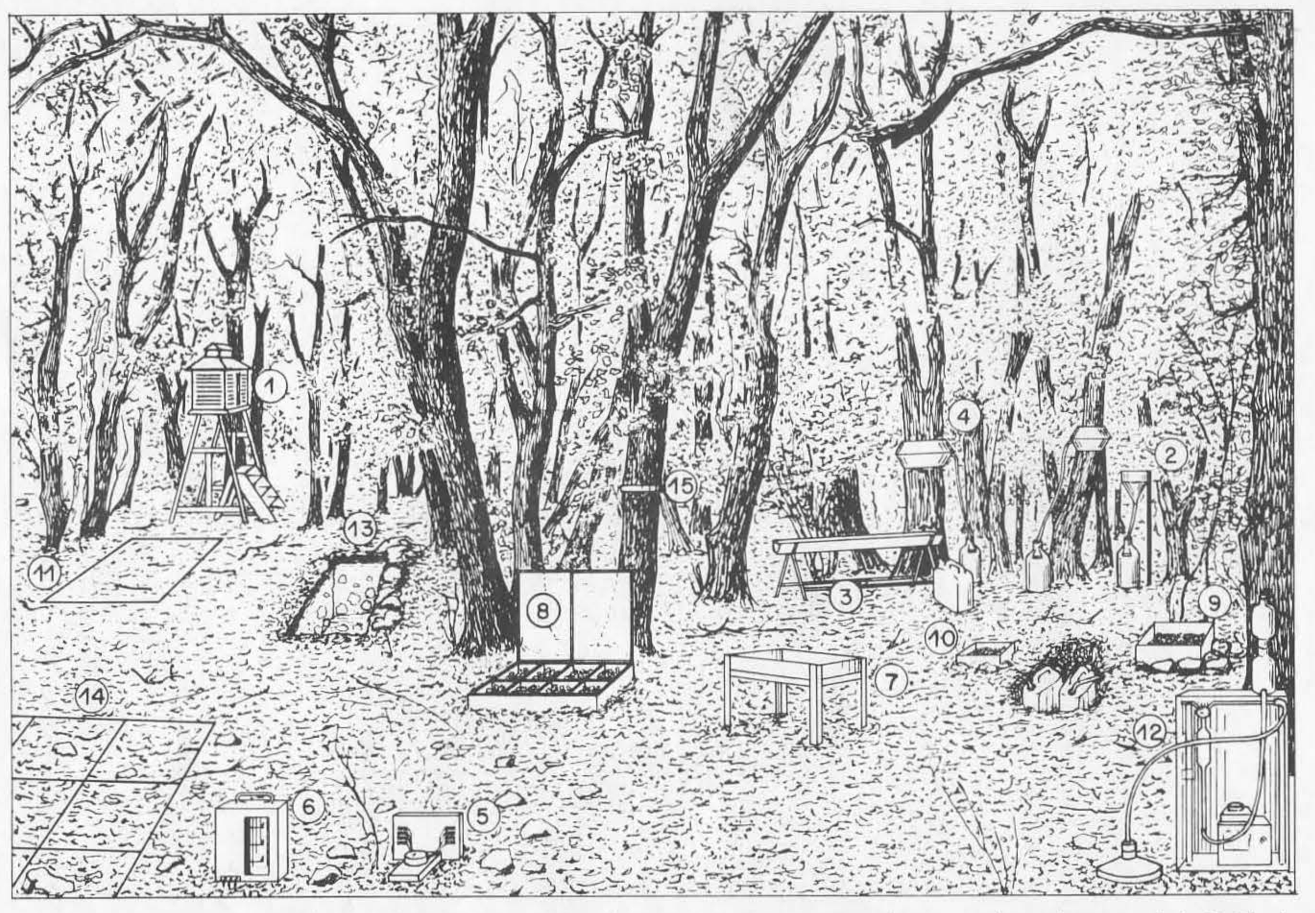
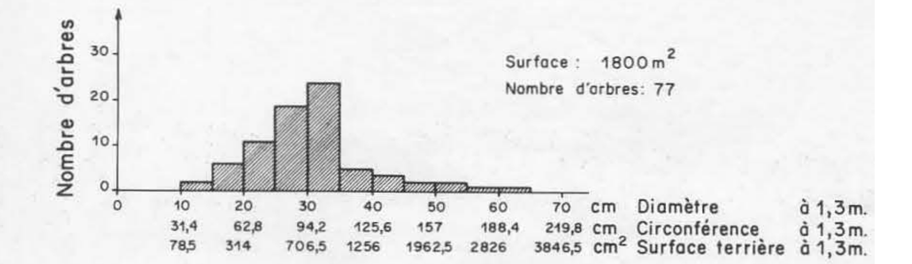


FIG. 5. — Vue schématisée de la station du Rouquet : 1) Abri météorologique (barographe, thermographe et hygrographe); 2) Pluviomètre; 3) Pluviomètre-auge; 4) Ecoulement le long des troncs; 5) Sondes et appareils de Bouyoucos; 6) Triple thermographe; 7) Panier collecteur de litière; 8) Décomposition de la litière; 9) Lysimètre pour l'étude de la libération des éléments minéraux; 10) Lysimètre pour l'étude de la percolation; 11) Zone de prélèvement pour l'étude de la minéralisation potentielle de l'azote et du carbone; 12) Métabolisme global du sol; 13) Fosse pédologique; 14) Zone quadrillée de prélèvement de la microfaune; 15) Dendromètre.

LA MADELEINE



LE ROUQUET

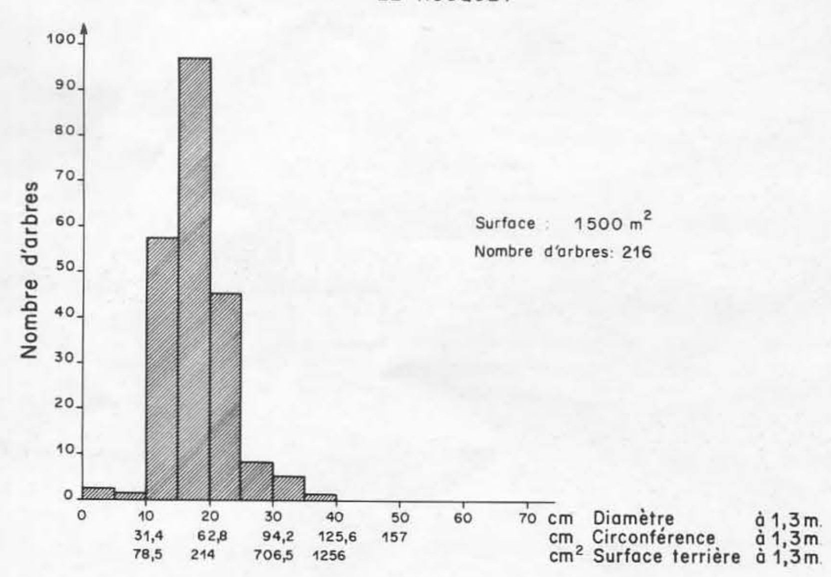


FIG. 6. — Histogrammes de répartition des arbres en classes de diamètres dans les deux stations.

LES SOLS

Un profil type choisi dans chacune des deux stations est décrit et analysé ci-dessous.

La Madeleine.

Profil 1 — Rendzine forestière sur colluvium.

1. *Emplacement.*

Le profil se trouve au milieu de la station, sur une pente faible de 5 % d'un colluvium à environ 70 mètres d'une falaise calcaire de 15 m de haut.

Altitude : 10 m.

Roche-mère : calcaire compact du jurassique supérieur recouvert d'un colluvium de faible épaisseur du Miocène moyen.

Végétation : futaie de Chêne vert (voir relevé ci-dessus).

2. *Description morphologique du profil.*

A_{00} 0-2 cm : Litière de Chêne vert, peu épaisse. Feuilles peu décomposées. 20 % de cailloux calcaires arrondis, à diamètre moyen de 2 à 5 cm.

Absence de couche de fermentation. La litière repose sans transition sur le A_1 très grumeleux.

A_1 2-10 cm : Couleur Munsell (*) 10 YR 3/1. Structure grumeleuse bien aérée, déjections de vers de terre très abondantes. Consistance forte. Texture limono-argileuse. 10 % de cailloux calcaires arrondis d'un diamètre moyen de 2 à 10 cm. Racines très abondantes.

A_{11} 10-30 cm : 10 YR 3/2. Structure grumeleuse à polyédrique subanguleuse. Consistance forte à moyenne. Texture limono-argileuse. 15 % de cailloux calcaires plus ou moins anguleux et d'un diamètre moyen de 2 à 10 cm. Racines très abondantes.

A_{12} 30-60 cm : 10 YR 4/2. Structure polyédrique subanguleuse friable. Texture limono-argileuse. 30 à 35 % de cailloux et blocs calcaires plus ou moins anguleux et d'un diamètre moyen de 5 à 60 cm. Débris d'activité humaine : ossements, poteries, débris de coquillages. Racines encore abondantes.

A_{13} 60-85 cm : 10 Y 4/3. Structure polyédrique subanguleuse friable. Texture limono-argileuse. 5 % de cailloux calcaires anguleux. Débris d'activité humaine. Racines peu abondantes.

A/BCa 85-100 cm : Structure polyédrique subanguleuse friable. Texture limono-argileuse. 15 % de cailloux calcaires et concrétions calcaires. Racines peu abondantes.

BCa 100 cm : 7,5 YR 4/4. Structure polyédrique anguleuse très faible. Texture limono-argileuse. 50 à 60 % de concrétions calcaires très dures et de même couleur que la couleur générale de cet horizon. Racines rares.

(*) La couleur Munsell a été déterminée sur la terre humide.

Tableau 4

Analyses physico-chimiques des profils
a) La Madeleine ; b) Le Rouquet.

Granulométrie et matière organique

a)

Horizons	Prof. cm	Arg.	Lim. fin	Lim. gros.	Sable t.f.	S. fin	S. moy.	S. gr.	S. tr. gr.	Terre fine %	M.O. % C × 1,72	C %	N %	C/N	A.F. C ‰ (2)	A.H. C ‰ (3)	A.H./A.F.
A_1	0-10	21,5	27,7	19,8	9,7	4,3	4,4	2,6	1,9	85,8	9,09	5,29	0,49	10,6	4,5	8,6	1,9
A_{11}	10-30	23,0	25,7	20,5	12,5	4,4	4,6	3,1	2,6	86,1	4,23	2,46	0,27	9,1	2,0	4,0	2,0
A_{12}	30-60	18,2	34,1	22,0	10,2	4,3	4,1	2,5	1,9	92,2	2,37	1,38	0,15	9,1	1,4	2,3	1,6
A_{13}	60-85	19,8	30,8	19,8	13,2	4,8	4,9	3,2	1,6	93,1	1,49	0,87	0,09	9,5	1,2	1,3	1,1
B Ca	< 100	17,4	24,8	24,0	13,8	5,4	7,0	3,9	2,6	78,4	0,68	0,40	0,06	8,8	0,4	0,7	1,75

Analyse chimique

Horizons	Prof. cm	pH		Ca (1)	Mg (1)	K (1)	Na (1)	S (1)	T (1)	S/T %	Fe_2O_3 libre %	Al_2O_3 libre %	$CaCO_3$ total %	$CaCO_3$ actif %
		eau	KCl											
A_1	0-10	7,6	7	–	–	–	–	–	–	–	1,0	–	15,2	4,3
A_{11}	10-30	7,8	7,1	55,95	1,98	1,69	0,18	59,80	24,2	Sat.	1,0	–	19	7,0
A_{12}	30-60	8,0	7,2	56,85	1,74	1,30	0,24	60,73	21,2	"	1,1	–	20,0	9,3
A_{13}	60-85	8,3	7,3	59,55	1,11	1,32	0,27	62,25	19,2	"	1,1	–	22,0	9,0
B Ca	< 100	8,4	7,4	60,8	1,00	0,88	0,38	63,6	14,1	"	1,5	–	22,0	5,5

(1) En milliéquivalents pour 100 g

(2) Acides fulviques

(3) Acides bumiques

b)

Granulométrie et matière organique

Horizons	Prof. cm	Arg.	Lim. fin	Lim. gros.	Sable t.f.	S. fin	S. moy.	S. gr.	S. tr.gr.	Terre fine	M.O. % C × 1,72	C %	N %	C/N	A.F. C.‰ (2)	A.F. C ‰ (3)	A.H./A.F.
A_1	1-7	17,0	35,8	19,1	9,3	2,7	2,4	1,4	1,2	96,3	8,92	5,19	0,33	15,5	3,7	5,3	1,43
A_{11}	7-20	18,2	33,4	21,0	9,2	3,0	3,1	2,1	1,0	96,9	6,54	3,80	0,26	14,6	4,7	8,2	1,74
B_1	20-44	44,4	20,1	18,2	8,0	2,5	2,4	1,2	0,8	99,2	3,41	1,98	0,138	14,9	3,9	4,4	1,12
B_{11}	44	47,4	17,2	16,8	9,1	2,6	2,5	1,5	1,2	97,7	2,55	1,48	0,128	11,6	2,9	1,9	0,6

Analyse chimique

Horizons	Prof. cm	pH		Ca (1)	Mg (1)	K (1)	Na (1)	S (1)	T (1)	S/T %	Fe_2O_3 libre %	Al_2O_3 libre %	$CaCO_3$ total %	$CaCO_3$ actif %
		eau	KCl											
A_1	1– 7	7,5	6,7	40,95	1,59	1,29	0,06	43,89	21,4	Sat.	3,3	–	Tr.	0
A_{11}	7–20	7,8	7,1	54,15	0,60	1,05	0,06	55,86	31,1	"	3,3	–	Tr.	0
B_1	20–44	7,7	6,9	33,75	0,39	0,81	0,06	35,01	28,3	"	3,7	–	Tr.	0
B_{11}	44	7,8	7,0	30,75	0,30	0,78	0,06	31,89	24,7	"	3,7	–	Tr.	0

3. *Analyse :* voir tableau 4*a* et 5.

4. *Interprétation.*

Ce sol présente une granulométrie limono-argileuse (50 % de limon, 20 % d'argile), très homogène sur l'ensemble du profil. En outre, il est très riche en calcaire avec une proportion importante de calcaire actif. De ce fait, le complexe absorbant est entièrement saturé.

Ces trois caractères, alliés à une activité biologique intense, sont les principaux responsables d'une structure grumeleuse très stable et d'une porosité élevée dans les horizons de surface.

La matière organique du type mull calcique, bien représentée en surface, décroît régulièrement vers la profondeur.

L'ensemble des caractères morphologiques et analytiques permet de ranger ce sol dans le groupe des rendzines. Cependant la décarbonatation du profil est amorcée et se manifeste par un début de formation d'un horizon calcique en profondeur.

A noter, la forte teneur en potassium échangeable de ce sol et également en sodium. Ce dernier provient certainement du chlorure de sodium apporté par les embruns de la mer toute proche.

TABLEAU 5

Teneur en eau des sols à différentes profondeurs aux pF 2,7, 3 *et* 4,2.

Profil	Prof. cm	Humidité		
		p^F 2,7	p^F 3	p^F 4,2
La Madeleine Prof. 1 P.B.	0-5	36,9	34,2	20,3
	5-15	36,2	33,3	21,2
	15-25	33,8	30,7	19,7
	25-40	32,5	29,2	17,8
Le Rouquet Prof. 2 P.B.	0-10	34,1	31,2	19,3
	10-20	29,1	26,8	16,5
	20-30	27,3	25,7	16,5
	30-40	27,5	25,8	16,2
	40-50	26,9	24,7	15,8

LE ROUQUET

Profil 2 — Sol brun méditerranéen sur paléosol rouge colluvial.

1. *Emplacement :*

Le bois du Rouquet.
Altitude : 180 m.
Roche-mère : calcaire de l'Eocène inférieur.
Végétation : futaie de Chêne vert (voir relevé floristique ci-dessus).

2. *Description morphologique du profil.*

A_{00}
0-1 Litière peu épaisse avec 15 % de cailloux calcaires et siliceux, d'un diamètre moyen de 5 à 10 cm.
1-2 Horizon F de décomposition de la litière.

A_1 2-7 cm : Couleur Munsell 5 YR 3/3. Structure polyédrique subanguleuse. Consistance forte. Activité des vers de terre intense. Texture limono-argileuse. 15 à 20 % de cailloux d'un diamètre moyen de 5 à 10 cm, quelques cailloux silicatés ou siliceux. Racines abondantes.

A_{11} 7-20 cm : Couleur Munsell 5 YR 3/3. Structure polyédrique subanguleuse. Consistance forte. Activité des vers de terre encore intense. Mycélium blanc de champignons très abondant. Texture limono-argileuse. 10 % de cailloux calcaires d'un diamètre moyen de 5 à 10 cm. Quelques cailloux silicatés ou siliceux. Racines abondantes.

B_1 20-44 cm : Couleur Munsell 5 YR 4/6. Structure polyédrique subanguleuse. Consistance forte. Argilo-limoneux. Mycélium blanc de champignons. 10 % de cailloux calcaires d'un diamètre moyen de 15 à 20 cm. Quelques cailloux siliceux ou silicatés. Racines assez abondantes.

B_{11} 44-60 cm : Couleur Munsell 2,5 YR 3/4. Structure polyédrique subanguleuse. Consistance forte. Argilo-limoneux. Roche calcaire en place : 50 %. Quelques cailloux silicatés ou siliceux. Racines peu abondantes.

3. *Analyse :* voir tableau 4*b* et 5.

4. *Interprétation.*

Comme dans le profil précédent, la teneur en éléments supérieurs à 100-200 μ est très faible. Par ailleurs, les horizons profonds (B_1 et B_{11}) sont plus riches en argile que les horizons superficiels. Ce caractère est fréquemment vérifié dans des sols karstiques de ce type.

La teneur en calcaire total dans la fraction inférieure à 2 mm est faible. C'est le cas le plus général dans les sols du karst languedocien.

Malgré la faible teneur en calcaire total dans la fraction inférieure à 2 mm, le complexe absorbant est encore saturé.

La matière organique est ici aussi un Mull calcique. Le rapport acides humiques / acide fulviques est bas ainsi que le taux d'extraction. Le rapport

Carbone/Azote est ici plus élevé que dans le profil précédent. Il est de cet ordre de grandeur (14 à 15) dans la plupart des bois de Chênes verts dans les garrigues languedociennes.

La rubéfaction ancienne se manifeste par une teneur en fer libre élevée, nettement plus élevée que dans le profil précédent.

En conclusion, le sol du Rouquet s'est développé sur un colluvium (probablement très ancien) de terra rossa, avec une charge non négligeable de cailloux siliceux ou silicatés. L'ensemble du colluvium a recouvert la roche calcaire karstique que l'on retrouve dans l'horizon V et qui n'est donc pas en contact avec les horizons supérieurs du sol. Il s'en suit que le sol, tout en étant saturé, est moins basique que le sol de la Madeleine. En définitive, nous avons probablement affaire à un *sol brun sur paléosol rouge partiellement lessivé,* c'est-à-dire à un *sol rouge lessivé brunifié.*

Tous les phénomènes qui se déroulent dans le sol sont sous la dépendance directe des facteurs hydriques et thermiques. Une importance toute particulière a, par conséquent, été accordée à leur étude.

PROGRAMME DE RECHERCHES

Tous les phénomènes qui se déroulent dans le sol sont sous la dépendance directe des facteurs hydriques et thermiques. Une importance toute particulière a, par conséquent, été accordée à leur étude.

ETUDE DU MICROCLIMAT ET DU PÉDOCLIMAT.

Les appareillages permettant l'enregistrement continu, des différents paramètres microclimatiques ont été installés en 1965. La température est mesurée sous abri, à 1,50 m du sol, à la surface du sol et à 10, 20 et 50 cm de profondeur. En outre, on enregistre l'humidité atmosphérique relative.

La détermination de l'humidité du sol se fait avec deux types d'appareils : les tensiomètres de Prosser et les sondes en plâtre de Bouyoucos (2). Les tensiomètres et sondes sont préalablement étalonnés individuellement au laboratoire selon la méthode préconisée par F. Cope *et al.* (4). En même temps, on dresse la courbe des potentiels capillaires en fonction de l'humidité pour les différents horizons du sol.

L'humidité à pF 4,2 (16 atm.) est obtenue par la presse à membrane de Richards ; les valeurs pF3 et 2,7 dans une enceinte munie d'une plaque poreuse sous une pression de 1 atm., et 0,136 atm. pF3 peut être également obtenu par centrifugation à 1 000 g.

Ainsi on peut exprimer les courbes de variation annuelle de l'eau du sol en % de la terre sèche ou en unités pF.

La méthode des sondes de Bouyoucos s'est avérée supérieure à celle des tensiomètres. Malheureusement, leur domaine de mesure se limite à l'intervalle de pF3 et pF4,2, c'est-à-dire entre l'humidité équivalente et le point de fanaison.

L'utilisation d'une sonde à neutrons est envisagée, elle aurait l'avantage de permettre la mesure simultanée de la densité apparente, grâce à une source de rayons gamma qui y est incorporée.

La dynamique de l'eau.

La dynamique de l'eau est particulièrement importante à connaître dans le domaine de la pédogénèse et des rapports du milieu édaphique avec la végétation. Aussi, nous procédons à la mesure des différents termes du bilan hydrique.

a) *Interception :* chaque station comporte cinq pluviomètres installés dans le sous-bois et deux à découvert à une cinquantaine de mètres de la lisière. Ils sont relevés hebdomadairement ou mensuellement selon l'importance des pluies. Le taux d'interception est obtenu par différence. Un pluviographe permet d'apprécier l'intensité et la durée des précipitations.

b) *L'écoulement le long des troncs* (stem-flow) : tous les arbres d'une surface déterminée, représentative du peuplement, comportant des troncs de différents diamètres, ont été cerclés à l'aide de gouttières en tôle d'aluminium. Le contact entre les collecteurs et les troncs est rendu étanche avec du mastic de vitrier et de la paraffine. Les solutions sont recueillies dans des bidons en matière plastique (fig. 5).

c) Des mesures de la *capacité d'infiltration* des pluies sont envisagées.

d) Les possibilités de *drainage,* par conséquent de lessivage des sols, sont étudiées grâce à des lysimètres de petit format installés à titre d'essai.

Avec ces principales données, complétées par des mesures d'évaporation potentielle, et les indications d'humidité relative de l'air on peut tenter l'établissement du bilan hydrique des stations.

Le cycle de la matière organique.

L'étude du cycle de la matière organique présente un grand intérêt en raison de l'intervention constante de cette fraction dans la majorité des processus

qui se déroulent à la surface et au sein du sol, de ceux qui président à leur formation et à leur évolution et en raison de la vie microbienne et animale qu'elle permet.

Voici les différents thèmes dont l'étude est en cours :

a) *Rythme et importance des retombées de litières :*

Par litière nous entendons les débris morts, bois, brindilles, feuilles, inflorescences, fruits, qui retournent au sol.

Les récoltes se font mensuellement à l'aide de collecteurs de forme carrée de 1/4 de mètre carré chacun. Chaque station comporte 16 de ces récipients disposés à environ 50 cm du sol (fig. 5).

Le matériel récolté est trié et classé en quatre catégories de produits : bois et brindilles, feuilles, inflorescences et fruits, divers (déjections d'oiseaux, chenilles, etc.). Les échantillons sont séchés à 75°, pesés, puis analysés.

b) *Décomposition de la matière organique :*

La décomposition de la litière est suivie expérimentalement sur le terrain en disposant des quantités pesées de litière sur le sol préalablement tamisé et égalisé (fig. 5). Cette méthode, ainsi que l'utilisation parallèle de sacs en tulle de nylon renfermant les feuilles, présente l'avantage de permettre un contrôle de l'activité des vers de terre.

Une autre technique consiste à disposer une couche de litière dans un lysimètre de conception spéciale (fig. 6) et de récolter les solutions à fin d'analyse. Dans ce cas, la litière est soustraite à l'influence du sol.

c) *Les composés humiques du sol :*

La fraction de cette matière organique, apportée par la litière et incorporée au sol, ainsi que celle provenant de la décomposition des racines, est transformée en acides fulviques, humiques, bruns et gris et en humine.

Ces composés sont extraits et dosés par différentes méthodes : fractionnement densimétrique, extractions fractionnées avec différents solvants, séparation par électrophorèse horizontale et sur solution coulante.

Compte tenu de la densité apparente du sol, les résultats sont exprimés par rapport à un volume de terre.

Ainsi, la répartition spatiale quantitative et qualitative de la matière organique de l'ensemble de l'écosystème peut être évaluée : la partie stockée dans les organes vivants (biomasse), dans la litière en voie de décomposition, dans le sol à différentes profondeurs et sous les différentes formes mentionnées ci-dessus.

LE CYCLE DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET DE L'AZOTE.

Le cycle des éléments minéraux dans l'écosystème peut se schématiser de la façon suivante :

— l'apport au sol
+ par l'intermédiaire des litières ;
++ par le pluviolessivage ;
— leur libération progressive à partir des litières en décomposition ;
— leur infiltration dans le sol et, éventuellement, leur exportation hors du profil ;
— leur reprise par les végétaux ;
— leur stockage dans le matériel vivant, racinaire ou aérien.

Les éléments étudiés jusqu'à présent sont : Na, K, Ca, Mg, P. Une importance toute particulière est donnée à l'azote.

L'étude de certaines de ces étapes a déjà fourni des résultats (RAPP, LOSSAINT, 1966 ; RAPP, 1967). L'apport de sodium par les embruns marins qui se font sentir à plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est étudié par la même occasion.

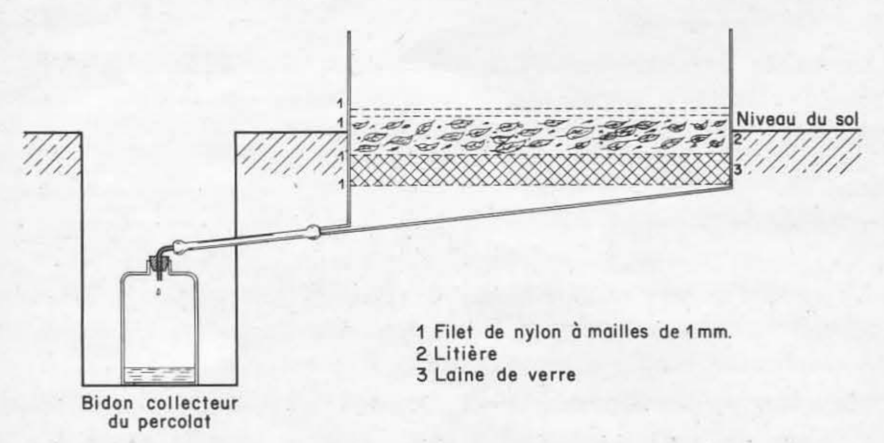


FIG. 7. — Schéma du lysimètre destiné à l'étude de la décomposition des litières et de la libération des éléments minéraux (d'après M. Rapp).

La *vitesse de libération* des éléments à partir des litières en décomposition est suivie à la fois sur le terrain et au laboratoire (RAPP, 1967). La figure 7 représente

l'installation utilisée *in situ*. Une couche de litière, préalablement pesée, est disposée dans un lysimètre en matière plastique. Les percolats sont prélevés et analysés mensuellement.

Le problème de l'*infiltration* des éléments dans le sol et leur éventuelle exportation par percolation devra être envisagé par la méthode des traceurs isotopiques, de même que leur reprise par les végétaux. Cette partie du programme sera réalisée dans l'enceinte même du Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache.

Enfin, l'évaluation du stock d'éléments dans le sol, dans la litière et dans la masse végétale vivante permettra d'établir le bilan de l'écosystème.

ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DU SOL.

Parmi les différentes méthodes proposées pour évaluer l'activité biologique des sols, nous avons retenu celles consistant à mesurer le dégagement de gaz carbonique, à étudier les processus d'ammonification et de nitrification et à apprécier la richesse en enzymes des sols.

a) *L'activité globale :* dégagement de CO_2.

Les dosages sont effectués tous les 15 jours sur le terrain dans les conditions d'humidité et de température naturelles. La méthode adoptée est celle déjà ancienne des cloches de Lundegardt. 2 à 4 cylindres sont enfoncés à demeure dans le sol et recouverts d'une cloche de matière plastique pendant la mesure qui dure 10 à 20 minutes. La méthode de dosage est celle de KOEPF (1952) récemment utilisée et décrite par BACHELIER (1966). Le principe est basé sur l'électrolyse d'une solution de NaCl (fig. 5).

Les expériences de terrain sont complétées par des mesures d'*activité potentielle* après incubation à température et humidité contrôlées au laboratoire, les mesures se faisant avec un appareil à infra-rouge.

b) *La minéralisation de l'Azote :*

La mesure de la vitesse de formation de l'ammoniaque à partir des composés aminés et hétérocycliques de la fraction organique du sol, ainsi que sa transformation sous l'influence des bactéries autotrophes spécialisées, en nitrites puis en nitrates constitue un critère intéressant pour caractériser l'évolution de l'Azote et par là-même les stations.

Le protocole expérimental retenu est le suivant : quatre surfaces permanentes de deux mètres carrés sont choisies à l'intérieur de la station. La terre prélevée sur les premiers dix centimètres est passée au tamis de 4 mm, soigneusement homogénéisée, répartie dans 18 sacs de tulle de *nylon,* remise en place et recouverte d'une mince couche de terre. Ces sacs sont prélevés à intervalles réguliers pour les incubations au laboratoire. On dispose ainsi d'échantillons homogènes. En outre, le fait de mener de front quatre sous-stations donne une idée de la variabilité du phénomène dans l'aire expérimentale.

On peut ainsi suivre en fonction du temps :

1) la minéralisation *potentielle* au laboratoire à 28° et à 80 % de l'humidité équivalente. Des échantillons sont prélevés tous les 2 mois, et incubés pendant 5 semaines. Les dosages se font par la méthode classique de distillation de NH_4 en présence de MgO et de la réduction des ions NO_2 et NO_3 par l'alliage de Dewarda ;

2) la minéralisation *in situ,* en s'arrangeant pour soustraire les échantillons au lessivage par les eaux de pluie et à la réutilisation de l'Azote minéral par les plantes supérieures. Deux techniques sont utilisées : incubation *in situ* pendant 6 semaines, en sacs de polyéthylène perméables à l'oxygène et au CO_2, et incubation en boîtes métalliques à parois latérales et bases perforées empêchant le lessivage, pendant le même laps de temps (LEMÉE, 1967).

3) l'évolution de la teneur en NH_4 et NO_3 dans le sol en place, c'est-à-dire soumis au lessivage par les eaux de percolation et au prélèvement par les végétaux : c'est l'*Azote minéral actuel.*

Parmi les autres tests d'activité biologique des sols utilisés couramment, on a souvent recours à la détermination de l'*activité enzymatique.*

c) *Les enzymes du sol :*

De nombreux enzymes ont été mis en évidence dans le sol. DURAND (1965) en a donné une revue récemment. Une méthode souvent utilisée consiste à mesurer l'activité *déshydrogénasique* (LENHARD, 1956). Elle permet d'évaluer l'intensité globale des processus métaboliques dans le sol. L'hydrogène enlevé aux composés organiques est transféré par les systèmes de déshydrogénases caractéristiques des germes vivants sur un accepteur d'hydrogène : le chlorure de 2, 3, 5 triphényltetrazolium (TTC). Celui-ci, soluble dans l'eau, donne, après réduction, un composé rouge, le formazan, soluble dans l'acétone. Il suffit de faire une extraction par ce solvant et de mesurer l'intensité de la coloration.

Deux autres enzymes dosées sont l'*uréase* et la *saccharase.* On utilise la méthode proposée par HOFMANN et SEEGERER (1961) et HOFMANN et SCHMIDT (1953) qui consiste dans un premier stade à bloquer l'activité du sol avec du

toluène. A une fraction on ajoute de l'urée et on dose NH_4 formé après 48 heures d'incubation. A une autre fraction on ajoute du saccharose en présence d'une solution tampon. Après incubation, on dose les sucres réducteurs.

Microflore et groupements fonctionnels.

Au cours d'un cycle annuel on procède en outre à 6 échantillonnages en vue de la numération de la *microflore totale* et de recherches sur l'activité des principaux groupements fonctionnels : *fixateurs d'azote, nitrificateurs, germes cellulolytiques,* etc. On dose également les acides aminés et les glucides libres (Lab. du Prof. Pochon, Institut Pasteur). Un autre laboratoire, celui du Professeur Mangenot (Nancy) s'occupe des champignons cellulolytiques et lignivores ainsi que des actinomycètes.

Inventaire de la micro- et mésofaune

Il est procédé tous les deux mois à des prélèvements d'échantillons de sols pour les comptages des microarthropodes. Les prélèvements se font sur une surface de 75 m^2 choisie aussi homogène que possible, subdivisée en quadrats de 1 m^2 (fig. 5). Tous les deux mois, on prélève au niveau de la litière, de 0 à — 5 cm et de — 5 à — 10 cm de profondeur, six volumes identiques de sol, pris dans six carrés préalablement tirés au sort, ce qui fait donc 18 échantillons bimestriels. L'extraction est effectuée avec l'appareil de Berlese. Le plan de prélèvement a été prévu par un biostatisticien du Laboratoire d'Ecologie de Brunoy (Prof. Delamare).

En ce qui concerne les *Lombricidés,* étudiés par les collaborateurs de M. Bessard (I.N.R.A., Dijon), les premières investigations ont montré que l'espèce *Eophila gigas s. lat.* prédominait largement dans les stations étudiées.

Deux méthodes sont utilisées : la méthode par creusement d'une fosse et collecte des individus et la méthode au formol.

ÉTAT D'AVANCEMENT DES RECHERCHES

Les recherches ont été entreprises en 1965 dans la station de la Madeleine. La station du Rouquet a démarré en 1965 pour certaines observations, en 1967 pour d'autres.

On dispose, à l'heure actuelle, de données portant sur les périodes suivantes pour les différentes observations :

	La Madeleine	Le Rouquet
Microclimat	mai 1966	avril 1967
Température du sol	avril 1965	décembre 1967
Eau du sol	mars 1966	août 1967
Pluviométrie } Pluviolessivage }	juin 1965	juin 1965
Production de litière	février 1965	avril 1965
Cycle des éléments	février 1965	avril 1965
Activ. biol. globale	septembre 1966	novembre 1967
Minéralisation de l'Azote	juin 1966	–
Microflore	avril 1966	–
Microfaune	juin 1966	janvier 1968
Champignons	octobre 1966	–
Vers de terre	décembre 1966	–

Rappelons qu'au fur et à mesure que nos moyens augmentaient, ces recherches ont été progressivement étendues aux autres groupements de la bioséquence de dégradation : garrigue à *Quercus coccifera,* pelouse à *Brachypodium ramosum* et à un groupement semi-artificiel, un peuplement de *Pinus halepensis.*

Il est utile de signaler également qu'il est envisagé dans les mêmes sites et dans le cadre de la section PP du PBI une étude complète des processus de photosynthèse et de transpiration ainsi que des mesures de flux de CO_2 et d'énergie rayonnante à différents niveaux à l'intérieur des peuplements (ECKARDT, 1967).

Il est par conséquent permis de penser que nous disposerons d'ici quelques années d'une vue d'ensemble très complète sur le fonctionnement des principaux écosystèmes méditerranéens.

Remerciements

Nous exprimons notre reconnaissance à MM. BIQUET et DELMOTTE qui nous ont autorisé à installer nos stations expérimentales sur les terrains dont ils sont propriétaires.

Nous sommes également heureux de remercier tous ceux qui ont participé à la mise en route de ces stations et qui y poursuivent les recherches et ceux qui nous ont conseillés et aidés : MM. RAPP, BOTTNER, GHAFOURI, BILLES, VINAS, chercheurs de la Section ; MM. GODRON et TRABAUD, ingénieurs-écologistes du C.E.P.E. ; M. PRIOTON, Mme MERLE, Mme TALLENDIER, Mlle JEGOU, collaborateurs techniques.

L'essentiel de ce programme a été conçu à notre section. A la suite de l'adhésion de son promoteur à la RCP 40, il a pu être largement développé grâce à la collaboration de son directeur, M. le Professeur DELAMARE-DEBOUTTEVILLE pour l'inventaire faunistique du sol, de M. POCHON, Institut Pasteur, pour la microbiologie du sol ; de M. MANGENOT, Nancy, pour les champignons ; du laboratoire de la Faune de Dijon (M. BOUCHE) et du Centre de Pédologie de Nancy (MM. DUCHAUFOUR et DOMMERGUES).

BIBLIOGRAPHIE

BACHELIER (G.), 1966. — Mesure *in situ* du dégagement de gaz carbonique des sols à l'aide de l'ampoule de Koepf. *Cah. ORSTOM, série Pédologie,* **4,** 2, 93-97.

BOUYOUCOS (G. J.), MICK (A. H.), 1940. — An electrical resistance method for the continuous measurement of soil moisture under field conditions. *Michigan Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.,* 172 p.

BRAUN-BLANQUET (J.), 1936. — La forêt d'Yeuse languedocienne (*Quercetum ilicis*). *Mémoire de la Société d'Etudes des Sciences Naturelles de Nîmes,* n° 5.

COPE (F.) et TRICHET (E. S.), 1965. — Measuring of soil moisture. *Soils and Fert.,* vol. XXIII.

DELAMARE-DEBOUTTEVILLE (Cl.) et VANNIER (G.), 1966. — La recherche coopérative sur programme en écologie du sol, ou R.C.P., 40. *Rev. Ecol. Biol. Sol.,* **3,** n° 4, 523-531.

DUGRAND (R.), 1964. — La garrigue montpelliéraine. Presses Universitaires de France, Paris, 292 p.

DURAND (R.), 1965. — Les enzymes dans le sol. *Rev. Ecol. Biol. Sol,* **2,** n° 2, 141-205.

DUVIGNEAUD (P.), DENAEYER-DESMET (S.), 1964. — Le cycle des éléments biogènes dans l'écosystème forêt. *Lejeunia,* n° 28, 147 p.

ECKARDT (F. E.), 1967. — Mécanisme de la production primaire des écosystèmes terrestres sous climat méditerranéen — Recherches entreprises à Montpellier dans le cadre du Programme Biologique International. *Oecol. Plant.,* **2,** n° 4.

EMBERGER (L.), 1955. — Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Fac. Sci. Montpellier, Botanique,* **7,** 3-43.

HOFMANN (E.), SEEGERER (A.), 1951. — Uber das Enzymsystem unserer Kulturböden. I. Saccharase. *Biochem. Z.,* **322,** 174-179.

HOFMANN (E.), SCHMIDT (W.), 1953. — Uber das Enzymsystem unserer Kulturböden. II. Urease. *Biochem. Z.,* **324,** 125-127.

KOEPF H. (1952). — Laufende Messung der Bodenatmung im Freiland. *Landw. Forschung,* **4,** 3, 186-194.

LEMÉE (G.), 1957. — Investigations sur la minéralisation de l'Azote et son évolution annuelle dans des humus forestiers in situ. *Oecol. Plant.,* **2,** n° 4.

LENHARD (G.), 1956. — Die Deshydrogenaseaktivität des Bodens als Mass für die Mikroorganismentätigkeit im Boden. *Z. Pfl. Ernähr. Düng.,* **73,** 1-11.

LOSSAINT (P.), RAPP (M.), 1968. — Un exemple d'installation d'une station expérimentale en milieu naturel pour une étude intégrée d'Ecologie du Sol. *Symposium on methods of study in soil ecology*, Paris (à paraître).

RAPP (M.), LOSSAINT (P.), 1966. — Apports au sol de substances organiques et d'éléments minéraux par la litière dans une futaie de *Quercus ilex* et une garrigue de *Quercus coccifera* du sud de la France. *C. R. Conf. Pédologie Méditerranéenne, Madrid* (sous presse).

RAPP (M.), 1967. — Etude expérimentale de la libération d'éléments minéraux lors de la décomposition de litières d'essences méditerranéennes. *C. R. Ac. Sc. Paris*, **264**, 797-800.

REMEZOV (N. P.), RODIN (L. Y.), BAZILEVICH (N. I.), 1963. — Indications sur la méthode d'étude du cycle biologique des éléments minéraux et de l'azote des communautés végétales des principales zones tempérées (en russe). *Bot. Zh.*, **48**, n° 6, 869-877.